Journal of Agroecology
Vol. 12, No.1, Spring 2020, p. 87-106

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 12، شماره 1، بهار 1399، ص 106-87

ارزیابی چرخه‌حیات و برآورد انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی در تولید نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

علی کعب[1]، محمد شریفی[2*] و حسین مبلی[3]

تاریخ دریافت: 1397/08/24
تاریخ پذیرش: 1398/03/05

کعب، ع.، شریفی، م. و مبلی، ح. 1399. ارزیابی چرخه‌حیات و برآورد انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی در تولید نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. بوم‌شناسی کشاورزی، 12 (1): 106-87.

چکیده

این بررسی با هدف ارزیابی چرخه‌حیات تولید نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) و هم‌چنین مدل‌سازی و پیش‌بینی میزان انتشار شاخص‌های زیست‌محیطی بر اساس نهاده‌های ورودی در مزارع پلنت و مزارع راتون به‌طور جداگانه با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در استان خوزستان بررسی شد. اطلاعات لازم برای انجام این مطالعه به‌شکل 92 پرسش‌نامه و بررسی حضوری از شرکت کشت و صنعت امام خمینی (ره) استخراج شد. دروازه مزرعه و یک‌تن محصول تولیدی به‌ترتیب به‌عنوان مرز سامانه و واحد عملکردی انتخاب شدند. گروه‌های اثر مورد مطالعه شامل تخلیه مواد غیرآلی، اسیدی شدن، اختناق دریاچه‌ای، پتانسیل گرمایش جهانی، نقصان لایه ازن، مسمومیت انسان‌ها، مسمومیت آب‌های سطحی، مسمومیت آب‌های آزاد، مسمومیت خاک، اکسیداسیون فتوشیمیایی بود. به‌منظور ارزیابی اثرات زیست‌محیطی از نرم‌افزار Simapro V8.0.3.14 استفاده شد. نتایج حاصل از اثرات زیست‌محیطی نشان داد که در بخش‌های گروه‌های اثر مورد مطالعه، الکتریسیته، کود نیتروژن و ماشین‌های کشاورزی بیشترین تأثیر بر انتشار آلایندگی در تمام گروه‌ها داشته‌اند. مجموع شاخص زیست‌محیطی نیشکر تولید شده در مزارع پلنت برابر با EcoX 0/45 به‌ازای یک تن نیشکر تولیدی محاسبه گردید که حدود 32 درصد بالاتر از مجموع این شاخص در مزارع راتون می‌باشد. نتایج مدل‌سازی نشان داد که بهترین ساختار برای شبکه عصبی جهت پیش‌بینی آلاینده‌های زیست‌محیطی تولید نیشکر، ساختار 10- 5- 10- 9 برای مزارع پلنت و ساختار10- 6- 9- 7 برای مزارع راتون تخمین زده شد. R^2 برای شاخص مسمویت انسان‌ها و مسمویت آب‌های آزاد با 0/960 کمترین مقدار، و برای شاخص اسیدی شدن و اختناق دریاچه‌ای با 0/992 بیشترین مقدار در مزارع پلنت و هم‌چنین در مزارع راتون، R^2 برای شاخص اختناق دریاچه‌ای با 0/985کمترین مقدار، و برای شاخص اسیدی شدن 0/995بیشترین مقدار، محاسبه گردید. بنابراین شبکه عصبی می‌تواند به‌خوبی میزان نشر آلاینده‌های زیست‌محیطی را در مزارع نیشکر پیش‌بینی و مدل‌سازی کند.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل‌گرمایش جهانی، شاخص بوم‌شناخت، مدل‌سازی، مزارع پلنت، مزارع راتون

مقدمه

ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، فرآیند پیش‌بینی اثرات ناشی از فعالیت‌های یک پروژه بر فاکتورهای زیست‌محیطی مشتمل بر محیط‌های فیزیکی و شیمیایی، بیولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی طی فازهای ساختمانی و بهره‌برداری می‌باشد که پیامدهای مثبت یا منفی ناشی از آن بر اساس دوره‌های زمانی بلندمدت، میان‌مدت و کوتاه‌مدت و هم‌چنین نحوه اثرگذاری به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم مورد بررسی قرار می‌گیرد. امروزه تولیدات کشاورزی عموماً بر پایه استفاده از منابع محدودی مثل سوخت‌های فسیلی، منابع

1، 2 و 3- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشیار و استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: m.sharifi@ut.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i1.76629

آبی و دیگر نهاده‌های غیرقابل تجدید است. نگرانی‌هایی نیز در مورد مشکلات زیست‌محیطی مانند آلودگی آب، خاک، هوا، کاهش حاصلخیزی، فرسایش خاک و تخلیه منابع وجود دارد (Nabavi-Pelesaraei et al., 2018).

نیشکر (*Saccharum officinarum* L.)، گیاهی متعلق به خانواده پوآسه که از 31 درجه عرض جنوبی تا 36/7 عرض شمالی و در سطحی بیش از 22 میلیون هکتار در 104کشور دنیا کشت می‌گردد و حدود 71 درصد از تولیدات جهانی شکر را به خود اختصاص می‌دهد، به‌طوری‌که اقتصاد برخی از کشورها متکی به کشت این محصول بوده و در تجارت جهانی نقش عمده‌ای را ایفا می‌کند (FAO., 2016). این گیاه دارای یک دوره رشد طولانی هشت تا 12 ماهه بوده و در شرایط آب‌وهوایی خوزستان به‌دلیل کمبود میزان بارندگی عمدتاً آب موردنیاز آن از طریق آبیاری تأمین می‌گردد. گذشته از سهم تولید شکر در تجارت جهانی، اقتصاد برخی از کشورها مانند برزیل، کوبا، استرالیا و غیره بستگی به تولید شکر دارد، از طرفی کشت‌وکار این محصول علاوه‌بر تولید شکر فرآورده های جانبی فراوانی دارد که در اشتغال زایی و کاهش وابستگی مؤثر است. ازآن‌جایی که در جهان نیاز به تولید بهینه افزایش‌یافته است و تولید بیشتر در واحد سطح، فاکتوری مهم و تعیین‌کننده در اقتصاد کشاورزی محسوب می‌شود (Yousefi, 2012). کشت نیشکر به‌عنوان محصولی استراتژیک با درصد شکر بالا و داشتن محصولات جانبی می‌تواند نقش عمده‌ای در رفع این نیاز و قطع وابستگی ایفا کند. دوره تناوب محصول نیشکر دو تا پنج سال طول می‌کشد و در بعضی موارد با توجه به شرایط مساعد خاک و مزرعه تا هفت سال هم مزرعه می‌تواند عملکرد قابل‌قبول داشته باشد. به مزارع نیشکری که سال اول کشت شده، پلنت و به مزارع سال‌های بعد راتون گویند. مراحل کاری زراعت نیشکر شامل آماده‌سازی زمین، کاشت، مرحله داشت که شامل کوددهی، علف‌کشی و آبیاری و هم‌چنین مرحله برداشت می‌باشد (Kaab et al., 2019a). امروزه به‌دلیل اهمیت حفظ محیط‌زیست، اجرای هر نوع برنامه‌ای به علم و آگاهی کافی در این زمینه نیاز دارد (Mirhaji et al., 2012). تولیدات کشاورزی متمرکز و فشرده باعث ایجاد مشکلات زیست‌محیطی می‌شود. مصرف بالای نهاده‌ها منجر به اثرات زیست‌محیطی مضری مانند افزایش تقاضا برای منابع انرژی‌های فسیلی، افزایش پتانسیل گرمایش جهانی، از دست رفتن تنوع زیستی، تنزل کیفیت خاک و آلودگی آب، خاک و هوا شده است (Nemecek et al., 2011). بر این اساس امروزه اکثر مصرف‌کنندگان متعهد به محیط‌زیست، حساسیت ویژه‌ای بر روی شاخص‌های زیست‌محیطی از فرایند تولید تا مصرف محصول دارند. بر این اساس ارزیابی چرخه‌حیات[1] با توجه به تعریف استاندارد ایزو 14040، عبارت از روشی است که در آن کلیه اثرات زیست‌محیطی مرتبط با یک محصول، در کل چرخه‌حیات آن، از مرحله استخراج مواد خام تا تولید، مصرف، بازیافت، ضایعات حاصل و در نهایت دفع آن از گهواره تاگور ارزیابی می‌شود (Iriarte et al., 2010).

در حال حاضر، مسائل زیست‌محیطی به یکی از مهم‌ترین مسائل مطرح در سطح جهانی می‌باشد. داشتن اطلاعات کافی از وضعیت محیط زیست و بررسی روند تغییرات محیط زیستی یکی از موضوعات مورد توجه مجامع جهانی طی سال‌های اخیر بوده است. این موضوع در شناخت و درک صحیح از وضعیت موجود برای تعیین تغییرات لازم در نحوه مدیریت و ارائه برنامه‌های مدیریتی نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند (ISO, 2006). از بین روش‌های مختلف برای مطالعه زیست‌محیطی فرآیندها و تولید محصولات و خدمات، استفاده از روش ارزیابی چرخه‌حیات است که بر اساس استاندارد بین‌المللی ایزو 14040 (ISO, 2006) مجموعه‌ای از روش‌های سیستماتیک برای گردآوری و ارزیابی مواد، انرژی ورودی و خروجی و اثرات محیط زیستی همراه یک سیستم تولید محصول در طول چرخه‌حیات آن می‌باشد (Khanali & Hossien Zedeh Bandbafha, 2017). ارزیابی چرخه‌حیات عبارت است از گردآوری و ارزیابی ورودی‌ها، خروجی‌ها و تأثیرات زیست‌محیطی بالقوه در یک فرآیند تولیدی در طول چرخه‌حیات آن محصول (ISO, 2006). این روش در سال‌های اخیر به ابزار مناسبی جهت بررسی و تعیین میزان اثرات زیست‌محیطی در تولیدات کشاورزی و صنایع غذایی تبدیل گردیده، به‌طوری‌که در بسیاری از کشورها از آن به‌عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری‌های کلان در برنامه‌ریزی‌های زراعی استفاده می‌کنند (Kaab et al., 2019b).

هوش مصنوعی نشان‌دهنده پیشرفته‌ترین کاربرد کامپیوتر تا به امروز بوده که تلاش می‌کند تا بعضی انواع منطق فازی انسانی را تقلید کند. در حوزه کشاورزی بعد از کاربردهای گسترده کامپیوتر و بسته‌های نرم‌افزاری، تحولی به‌مراتب عمیق‌تر در این زمینه صورت گرفت و آن به‌کارگیری هوش مصنوعی در تحلیل وضعیت کشاورزی و محیط زیست می‌باشد (Lin et al., 2017). شبکه‌های عصبی

1-Life cycle assessment

مصنوعی می‌توانند با اقتباس از فرایند یادگیری مغز انسان، روابط بین متغیرها را هرچند پیچیده و غیرخطی کشف کنند. از کاربردهای مهم این روش، پیش‌بینی میزان آلاینده‌های زیست‌محیطی می‌باشد. که به تصمیم‌گیرنده این امکان را می‌دهد تا به‌منظور حداکثر نمودن عملکرد و حداقل کردن اثرات زیست‌محیطی در شرایط مبهم از آن استفاده کند (Antanasijević et al., 2015).

بررسی تأثیرات زیست‌محیطی تولید سیب (*Malus pumila*) در کشور نیوزیلند نشان داد که دلیل اصلی پتانسیل گرمایش جهانی و مسمومیت انسان، انتشار حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی می‌باشد (Mila I Canels et al., 2006). همچنین مطالعات متعددی در زمینه اثرات زیست‌محیطی انجام شده است که می توان به آن‌ها اشاره کرد. ارزیابی چرخه‌حیات انرژی و شاخص‌های زیست‌محیطی تولید کلزا (*Brassica napus*) در مازندران مورد بررسی قرار گرفت (Mousavi-Avval et al., 2015). در پژوهشی به ارزیابی چرخه‌حیات اثرات زیست‌محیطی تولید یونجه (*Medicago sativa*) پرداخته شد (Ghaderpour et al., 2018). ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و پیش‌بینی میزان آلاینده‌های منتشر شده در شالیزارهای استان گیلان بررسی شد (Nabavi-Pelesaraei et al., 2018). در مطالعه دیگری به ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید MDF[1] با رویکرد چرخه‌حیات پرداخته شد (Kouchaki-Penchah et al., 2016 a,b). در تحقیقی به مدل‌سازی انرژی مصرفی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در روند تولید نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) در مزارع راتون با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی تحلیل و بررسی شد (Haroni et al., 2015). در مطالعه‌ای به پیش‌بینی عملکرد محصول و برآورد انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید محصول گندم (*Triticum* aestivum) پرداخته شد، هدف از این مطالعه پیش‌بینی عملکرد گندم و انتشار آلاینده‌ها بر اساس نهاده‌های انرژی ورودی بود. بر این اساس چندین مدل (شبکه عصبی مصنوعی) توسعه داده شد و دقت پیش‌بینی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت (Khoshnevisan et al., 2013).

با توجه به اینکه نیشکر مهم‌ترین محصول برای تولید شکر و سایر فرآورده‌های جانبی از جمله اتانول، فیبر، علوفه، خوراک دام است و به‌دلیل اهمیت حفاظت از محیط زیست و نیاز به انجام تحقیقات بیشتر در زمینه شناسایی و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در راستای رسیدن به اهداف توسعه پایدار، هدف از مطالعه حاضر ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید نیشکر با رویکرد چرخه‌حیات و برآورد انتشار آلاینده‌های منتشر شده با توجه به نهاده‌های ورودی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

1-Medium-density fibreboard

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه و جمع‌آوری داده‌ها

این تحقیق در شرکت کشت و صنعت نیشکر امام خمینی (ره) که به‌عنوان یکی از شرکت‌های هفت‌گانه وابسته به شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی استان خوزستان می‌باشد، انجام شد. این شرکت در موقعیت جغرافیایی بین 48 درجه و 35 دقیقه تا 49 درجه و 12 دقیقه طول شرقی و 31 درجه و 36 دقیقه تا 32 درجه و 26 دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است (Ministry of Jihad-e-Agriculture, 2018). کل سطح زیر کشت این شرکت 12000 هکتار است که حدود 2000 (16 درصد) هکتار مربوط به مزارع پلنت و به دنبال آن مزارع راتون حدود 10000 (84 درصد) هکتار می‌باشد (Sugarcane Research Institute of Iran, 2018). طول دوره زراعی این محصول در منطقه مورد مطالعه پنج سال می‌باشد که در سال اول مزارع پلنت و در چهار سال بعد مزارع راتون می‌باشند. به‌عبارتی برداشت نیشکر در این منطقه به‌مدت پنج سال که میزان عملکرد نیشکر (ساقه تر) دارای صرفه اقتصادی می‌باشد، انجام می‌گردد.

با توجه به گسترده بودن جامعه آماری در این پژوهش از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده برای تعیین حجم نمونه استفاده شد. در این تحقیق حجم نمونه مورد نیاز برای محصول نیشکر با استفاده از رابطه کوکران (معادله 1) برابر با 92 نمونه برآورد گردید. جهت تکمیل آمار و اطلاعات مربوط به وضعیت کشاورزی در منطقه مورد مطالعه سعی شد در مراحل مختلف تحقیق با کارشناسان کشت و صنعت، مصاحبه به عمل آید و نظرات آن‌ها نیز لحاظ گردد. اطلاعات جمع‌آوری شده در این مطالعه شامل میزان سطح زیرکشت، ماشین‌های کشاورزی، نیروی انسانی، سوخت دیزل، الکتریسیته، قلمه نیشکر، سموم شیمیایی، آب مصرفی وکودهای شیمیایی می‌باشد.

$$n = \frac{N(s \times t)^2}{(N-1)d^2 + (s \times t)^2}$$

$$d = \frac{t \times s}{\sqrt{n}}$$

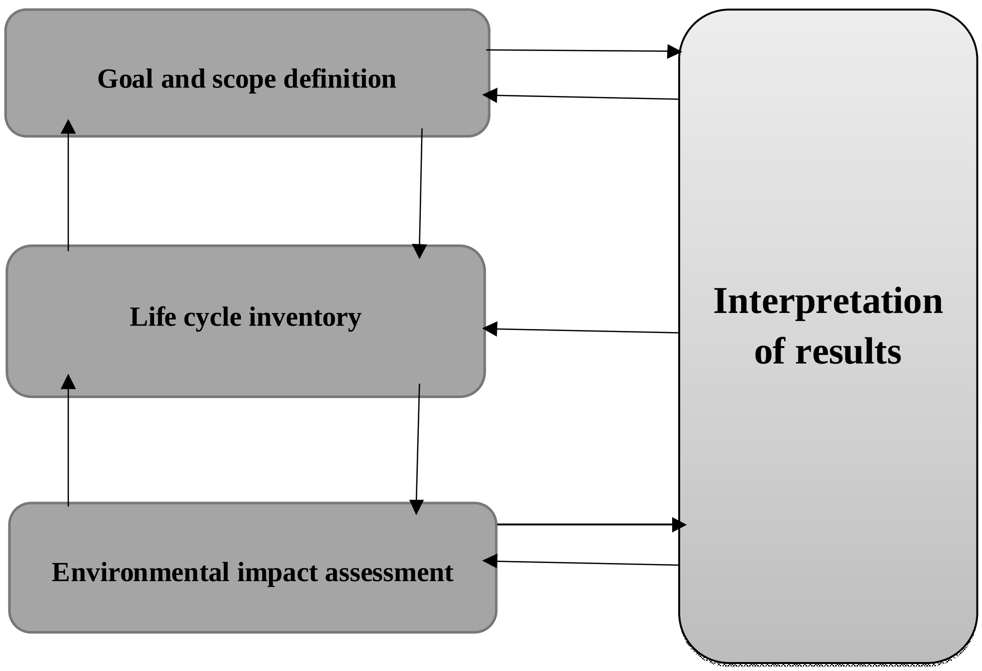
معادله (1)

که در آن، N: اندازه جامعه آماری یا تعداد مزارع منطقه مورد

مطالعه، t: ضریب اطمینان قابل قبول که با فرض نرمال بودن توزیع صفت مورد نظر از جدول تی استیودنت به‌دست می‌آیـد، S^2: بـرآورد واریانس صفت مورد مطالعه در جامعه؛ d: دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصله اطمینان) و n: حجم نمونه است (Cochran, 1977).

ارزیابی چرخه‌حیات

در یک پروژه ارزیابی چرخه‌حیات تمـام فرآینـدهای تولیـد یـک محصول از مرحله استخراج مواد اولیه تا دفع پسماندهای باقی‌مانده از مصرف آن محصول (گهواره تا گور) مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل از آن جهت کاهش تأثیرات مخرب زیست‌محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Auer et al., 2017). ارزیابی چرخه‌حیات دارای چهار مرحله الزامی می‌باشد. ساختار چرخه‌حیات در شکل 1 نشان داده شده است.

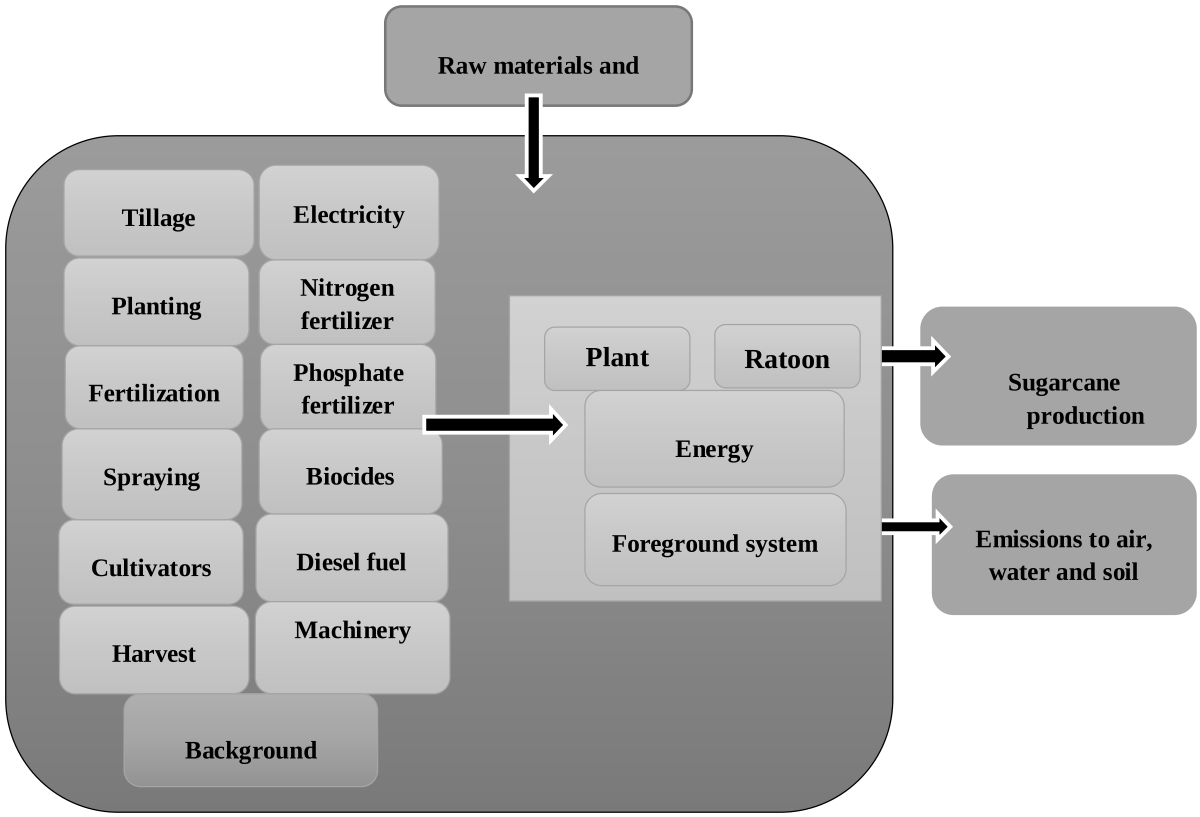


شکل 1- ساختار ارزیابی چرخه‌حیات (Soleymani et al., 2017)

Fig. 1- Life cycle assessment structure (Soleymani et al., 2017)

تعریـف هـدف و دامنـه[1]: اولـین گـام در روش ارزیـابی چرخه‌حیات، تعریف هدف و مشخص کردن واحد کارکردی و تعیـین مرز سیستم است. در ایـن مرحلـه چهـارچوب کلـی کـار کـه شـامل واحدهای کارکردی، مرزهـای سـامانه، تخصـیص منـابع و انتخـاب بخش‌های اثر[2] است، مشخص می‌شود (González-García et al., 2013). در این مطالعه، هدف بررسی اثرات زیست‌محیطی گروه‌هـای مختلف در بخش تولید نیشکر در مـزارع پلنـت و راتـون بـه‌صـورت جداگانه و هم‌چنین مقایسه آن‌ها از نظر میـزان انتشـار آلاینـده‌هـای زیست‌محیطی می‌باشد. سه واحد کـارکردی متفـاوت بـرای ارزیـابی محصولات کشاورزی بر اساس سـطح، پـول و جـرم مـاده تولیـدی پیشنهاد شده است (Nemecek et al., 2011). در این پژوهش واحد کارکردی به‌صورت یک تن محصول تولیدی (نیشکر (سـاقه تـر)) در نظر گرفته شده است، بدین معنا که تمامی آلاینده‌های انتشار یافته بر پایه نهاده‌های مصرفی برای تولید یک تن محصول محاسبه و گزارش می‌شود. شکل 2 طرح کلی از مرزهای سیستم برای مزارع نیشـکر را نشان می‌دهد.

1- Goal and scope definition
2- Impact categories



شکل2- مرز سامانه مورد مطالعه

Fig. 2- The system boundary of the studied

تحلیل سیاهه چرخه‌حیات[1]: در این مرحله، منابع استفاده شده و انتشار آلاینده‌ها در کل یا بخشی از دوره حیات محصول که با توجه به مرزهای سامانه تعیین می‌شوند، در نظر گرفته می‌شود (Kylili et al., 2016). همچنین در این بخش، میزان مصرف نهاده‌ها تعیین و برحسب واحد کارکردی محاسبه می‌شود. کیفیت داده‌های جمع‌آوری شده به‌منظور تحلیل سیاهه چرخه‌حیات در اجرای موفق ارزیابی چرخه‌حیات همواره یک عامل بحرانی محسوب می‌شود. دستیابی به داده‌های معتبر عامل مهمی در پیشرفت و استفاده از ارزیابی چرخه‌حیات در مدیریت محیط‌زیست است (Manfredi & Vignali, 2014). نهاده‌های ورودی و خروجی و متوسط مقادیرشان در هکتار که به‌عنوان بخشی از سیاهه چرخه‌حیات برای تولید نیشکر به‌کار رفتند در جدول 1، و بخش‌های اثر بهره گرفته در این مطالعه و واحدهای سنجش آن‌ها نیز در جدول 2 آمده‌اند. همچنین در جدول 3 انتشارات مربوط به آلاینده‌های مستقیم در تولید نیشکر آورده شده است.

ارزیابی تأثیرات چرخه‌حیات: در این مرحله اثرات بالقوه ناشی از مصرف منابع محیطی و تولید آلاینده‌ها بر انسان و طبیعت ارزیابی می‌گردد (Romero-Gámez et al., 2012). در واقع هدف از ارزیابی اثرات چرخه‌حیات تفسیر بیشتر داده‌های سیاهه چرخه‌حیات است (Nasrollahi-Sarvaghaji et al., 2016). همچنین به‌منظور تفسیر نتایج، در این مرحله، انتشار آلاینده‌های مهم در بخش‌های اثرگذار خلاصه و ارائه می‌شود و در قسمت تفسیر نتایج، تمام نتایج به‌منظور نتیجه‌گیری و ارائه راهکارها مورد تحلیل قرار می‌گیرد (Guinée, 2002). در این مطالعه، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی بر اساس روش CML 2 Baseline 2000 V2.05/ universe method انجام شد.

1- Inventory analysis

جدول 1- نهاده‌های ورودی و خروجی و مقدار متوسط آن‌ها در یک هکتار نیشکر (ساقه تر) تولید شده
Table 1- Input and output and their average value per one hectare of sugarcane (fresh stem) produced

نهاده‌ها	مقدار در هکتار Quantity per hectare		واحد Unit
	مزارع پلنت Plant farms	مزارع راتون* Ratoon farms*	
ورودی‌ها Inputs			
نیروی انسانی Human labor	184.54	127.42	hr
ماشین‌های کشاورزی Agricultural machinery	761.59	413.98	$kg.yr^{-1}$
سوخت دیزل Diesel fuel	363.57	172.78	L
کودهای شیمیایی Chemical fertilizers			kg
نیتروژن Nitrogen	184.02	167.94	
فسفات Phosphate	162.66	-	
سموم شیمیایی Biocides	26.10	22.30	kg
آب آبیاری Water for irrigation	24230.75	21940.75	m^3
الکتریسیته Electricity	7125.60	5621.83	kwh
قلمه نیشکر Sugarcane cutting plant	9371.52	-	kg
ستانده Output			
نیشکر (ساقه تر) Sugarcane (Fresh stem)	100000	82375	kg

* در منطقه مورد مطالعه مزارع راتون چهار ساله هستند.
* In the studied area, ratoon farms are four years old.

این روش توسط پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه لیدن[1] هلند ارائه شده و یکی از روش‌هایی است که بیشتر برای استفاده در سطح بین‌المللی طراحی شده و اختصاص به منطقه خاصی ندارد(Guinée, 2002). روش مذکور شامل 10 طبقه اثر تخلیه مواد غیرآلی، اسیدی شدن، اختناق دریاچه‌ای، پتانسیل گرمایش جهانی، نقصان لایه ازن، مسمومیت انسان‌ها، مسمومیت آب‌های سطحی، مسمومیت آب‌های آزاد، مسمومیت خاک و اکسیداسیون فتوشیمیایی می‌باشد (Milutinović et al., 2017; Romero-Gámez et al., 2012) و جهت ارزیابی اثرات چرخه‌حیات سناریوهای تحت مطالعه (مزارع پلنت و راتون)، داده‌های به‌دست آمده از مرحله سیاهه چرخه‌حیات وارد نرم‌افزار Simapro V8.0.3.14 شد. این نرم‌افزار یکی از پرکاربردترین و محبوب‌ترین نرم‌افزارهای ارزیابی چرخه‌حیات می‌باشد (Kaab et al., 2019; Mousazadeh et al., 2011).

تلفیق و تفسیر نتایج: این مرحله، آخرین مرحله شاخص زیست‌محیطی تحت عنوان شاخص بوم‌شناخت (EcoX)[2] که معیار نهایی ارزیابی چرخه‌حیات و نشان‌دهنده مجموع اثرات

1- Leiden

2- Eco-Index

زیست‌محیطی انتشار انواع آلاینده‌ها می‌باشد، با استفاده از معادله 2 محاسبه شد (Mollafilabi, 2019).

معادله (2)
$$EcoX = \sum N_i \times W_i$$

که در این معادله، $EcoX$: شاخص محیطی بوم‌شناخت به‌ازای واحد کارکردی یک تن نیشکر (ساقه تر)، N_i: مقدار نرمال شده مربوط به هر گروه تأثیر، W_i وزن مربوط به هر یک از مقادیر N_i می‌باشد.

جدول 2- بخش‌های اثر، نماد و واحد هرکدام از آن‌ها

Table 2- Impact categories, symbol and unit of each of them

بخش‌های اثر Impact categories	نماد Symbol	واحد Unit
تخلیه مواد غیر آلی Abiotic depletion	AD	kg Sb eq.
اسیدی شدن Acidification	AC	kg SO_2 eq.
اختناق دریاچه‌ای Eutrophication	EU	kg $(PO_4)^{-3}$ eq.
گرمایش جهانی Global warming	GW	kg CO_2 eq.
نقصان لایه ازن Ozone layer depletion	OD	kg CFC11 eq.
مسمومیت انسان‌ها Human toxicity	HT	kg 1,4-DB eq.
مسمومیت آب‌های سطحی Freshwater aquatic ecotoxicity	FAET	kg 1,4-DB eq.
مسمومیت آب‌های آزاد Marine aquatic ecotoxicity	MAET	kg 1,4-DB eq.
مسمومیت خاک Terrestrial ecotoxicity	TE	kg 1,4-DB eq.
اکسیداسیون فتوشیمیایی Photochemical oxidation	PhO	kg C_2H_4 eq.

شبکه عصبی مصنوعی

در این قسمت برای پیش‌بینی میزان آلاینده‌های زیست‌محیطی محصول با توجه به نهاده‌های مصرفی مختلف در تولید نیشکر برای مزارع پلنت و راتون از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. ساختار شبکه در مزارع پلنت شامل نه ورودی (ماشین‌های کشاورزی، نیروی انسانی، سوخت دیزل، الکتریسیته، قلمه نیشکر، سموم شیمیایی، آب مصرفی، کود نیتروژن و کود فسفات) و شامل 10 خروجی (شاخص‌های زیست‌محیطی) است، امّا در مزارع راتون ساختار شبکه شامل هفت ورودی (ماشین‌های کشاورزی، نیروی انسانی، سوخت دیزل، الکتریسیته، سموم شیمیایی، آب مصرفی و کود فسفات) و شامل 10 خروجی (شاخص‌های زیست‌محیطی) می‌باشد. این شبکه‌ها قادر هستند هر رابطه بین ورودی و خروجی را با دقت دلخواه تخمین بزنند. برای دستیابی به بهترین شبکه با بیشترین دقت و کمترین خطا ایجاد تغییراتی در شبکه اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. یکی از این تغییرات چیدمان شبکه یا به‌عبارتی تعداد لایه‌های مخفی به‌کار رفته در شبکه است. تغییر دیگر شامل نوع تابع فعال‌سازی یا محرک[1] است. توابع محرک مختلفی برای یافتن حالت بهینه مورد ارزیابی قرار می‌گیرند که عبارت‌اند از معادله‌های 3 تا 5: (Safa & Samarasinghe, 2011)

1- Activation function

جدول 3- انتشارات مستقیم مزرعه‌ای تولید نیشکر (مزارع پلنت و راتون) (Renouf et al., 2010)

Table 3- Direct emissions from sugarcane production (plant and ratoon farms) (Renouf et al., 2010)

انتشارات مستقیم Direct emissions	واحد Unit	مقدار Quantity
انتشار به هوا Emissions to air		
متان Methane (CH_4)	$g.t^{-1}$ cane	90
دی نیتروژن مونو اکسید Nitrous oxide (N_2O)	$g.t^{-1}$ cane	6
نیتروژن اکسید Nitrogen oxide (NO_X)	$g.t^{-1}$ cane	33
آمونیاک و آمونیوم Ammonia (NH_3 and NH_4)	$g.t^{-1}$ cane	120
کربن مونو اکسید Carbon monoxide (CO)	$g.t^{-1}$ cane	3944
سولفور اکسید Sulfur oxide (SO_X)	$g.t^{-1}$ cane	41
ترکیبات آلی فرار بدون متان NMVOC [1]	$g.t^{-1}$ cane	204
فسفر Phosphorous (P)	% applied P	0.59
انتشار به آب Emissions to water		
آب‌شویی نیترات از طریق leaching Nitrate via	% appl.N (as NO_3-N)	6.5
فسفر حاصل از رواناب Phosphorous via runoff	% appl. P (as P)	12.8
آفت‌کش حاصل از رواناب Pesticide via runoff	% active ingredient	1.5
قند حاصل از رواناب Sugar via runoff	kg COD[2]$.ton^{-1}$ cane	4.3
انتشار به خاک Emissions to soil		
دی نیتروژن مونو اکسید N_2O	% appl. N (as N_2O–N)	1.72
دی نیتروژن مونواکسید N_2O	%deposited NO_X–N and NH_3–N	2.58
نیتروژن اکسید NO_X	% appl. N (as NOx–N)	4.51
کربن دی اکسید حاصل از آهک دهی CO_2 from liming	$t\ CO_2.t^{-1}$ lime	0.4
آمونیاک حاصل از اوره NH_3 from urea	% appl. Urea N (as NH_4–N)	2.5

1- Non-methane volatile organic compound

2- Chemical oxygen demand

معادله (3) تابع سیگموئید[1]

$$Y_j = \frac{1}{1+\exp(-X_j)}$$

معادله (4) تابع تانژانت هایپربولیک[2]

$$Y_j = \frac{2}{(1+\exp(-2X_j))} - 1$$

معادله (5) تابع خطی

$$Y_j = X_j$$

X_j مجموع ورودی‌های وزن‌دار هر یک از نرون‌های لایه j ام است و از معادله 6 محاسبه می‌شود (Kiani et al., 2010).

معادله (6)

$$X_j = \sum_{i=1}^{m} W_{ij} \times Y_i + b_j$$

که برای شبکه‌های پس انتشار پیشرو و پیشخور، m: تعداد نرون‌های لایه خروجی، W_{ij}: وزن بین لایه i و j ، Y_j خروجی نرون i ام و bj: مقدار بایاس نرون لایه j ام است.

در این تحقیق از الگوریتم‌های آموزش لونبرگ- مارکوات (LM)[3] برای به‌هنگام‌سازی وزن‌های شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد که از الگوریتم‌های پرکاربرد می‌باشند؛ چون آموزش شبکه را بسیار سریع انجام داده و سطح خطای موجود را حداقل می‌سازند. برای یافتن شبکه‌ای با توپولوژی مناسب به‌کمک الگوریتم‌های آموزش، از معیارهای ضریب تعیین (R^2) (معادله 7)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) (معادله 8) و میانگین خطای مطلق (MAPE) (معادله 9) استفاده شده است (Renno et al., 2016).

معادله (7)

$$R^2 = 1 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - A_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} A_i^2}}$$

معادله (8)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i}^{n}(P_i - A_i)^2}$$

معادله (9)

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left(\frac{|(P_i - A_i)|}{A_i} \times 100\right)$$

در روابط 5 تا 7، Ai و Pi: به‌ترتیب مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی شاخص‌های زیست‌محیطی برای کل مشاهدات است. N: تعداد کل مشاهدات موردبررسی، R^2: ضریب تعیین، *RMSE*: جذر میانگین مربعات خطا و *MAPE*: جذر میانگین خطای مطلق است که در این جهت بررسی مدل پیش‌بینی شده مورد ارزیابی قرار گرفتند. جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی میزان آلاینده‌های زیست‌محیطی از نرم‌افزار Matlab (R2016b) استفاده شد.

نتایج و بحث

ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید نیشکر

به‌منظور ارزیابی انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی در تولید نیشکر، کل چرخه‌حیات محصول مورد مطالعه از استخراج منابع اولیه تا برداشت محصول در مزرعه، در مزارع پلنت و راتون به‌طور جداگانه مورد مطالعه قرار گرفت. به‌منظور دستیابی به اطلاعات مورد نیاز از پایگاه داده‌ای Ecoinvent استفاده شد و آنالیز داده‌ها با نرم‌افزار Simapro انجام گردید. تمامی محاسبات بر اساس یک تن محصول تولید شده انجام شده است. پس از آن یک مقایسه کلی میان مزارع پلنت و راتون از نظر میزان آلایندگی تولید شده در یک هکتار انجام گرفته است. میزان انتشار در هر بخش اثر به‌ازای یک تن نیشکر تولید شده در جدول 4 نشان داده شده است.

همان‌گونه که در جدول 4 مشاهده می‌شود، مزارع راتون در تمام بخش‌های اثر بارهای محیطی کمتری نسبت به مزارع پلنت تولید می‌کند. یکی از مهم‌ترین بخش‌های اثر مورد بررسی در این مطالعه، پتانسیل گرمایش جهانی می‌باشد. در این مطالعه میزان پتانسیل گرمایش جهانی به‌ازای هر یک تن محصول تولیدی در مزارع پلنت و مزارع راتون به‌ترتیب، برابر 126/51 و 103/95 کیلوگرم معادل کربن دی اکسید برآورد شده است. این انتشارها ناشی از آتش زدن سرشاخه‌های نیشکر قبل از برداشت می‌باشد و هم‌چنین بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد بیشترین تأثیر در این بخش مربوط به ماشین‌های کشاورزی و الکتریسیته می‌باشد.

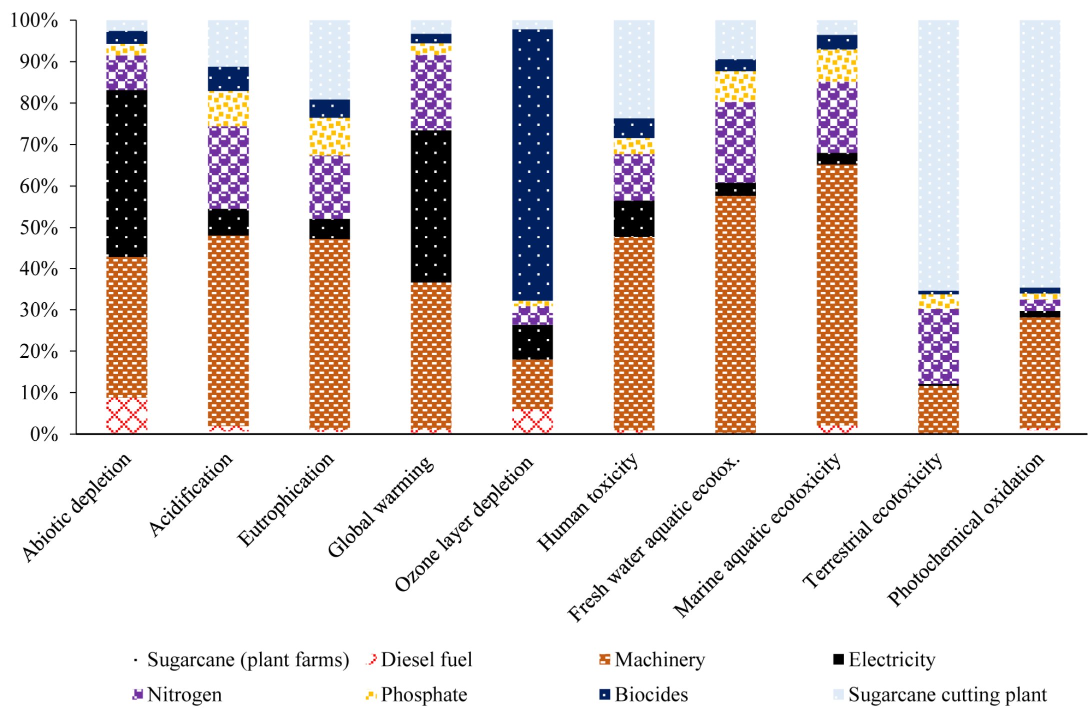
شکل 3 و 4 سهم هر یک از نهاده‌های ورودی و هم‌چنین نیشکر خروجی را در هر یک از بخش‌های اثر به‌ترتیب در مزارع پلنت و مزارع راتون نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد ماشین‌های کشاورزی و کود نیتروژن در تمام بخش‌های اثر بیشترین تأثیر را در افزایش شاخص‌های به‌دست آمده، داشته است.

2- Logsig
3- Tansig
4- Levenberg- Marquardt

جدول 4- شاخص‌های زیست‌محیطی در تولید نیشکر به‌ازای یک تن نیشکر (ساقه تر) در مزارع پلنت و راتون

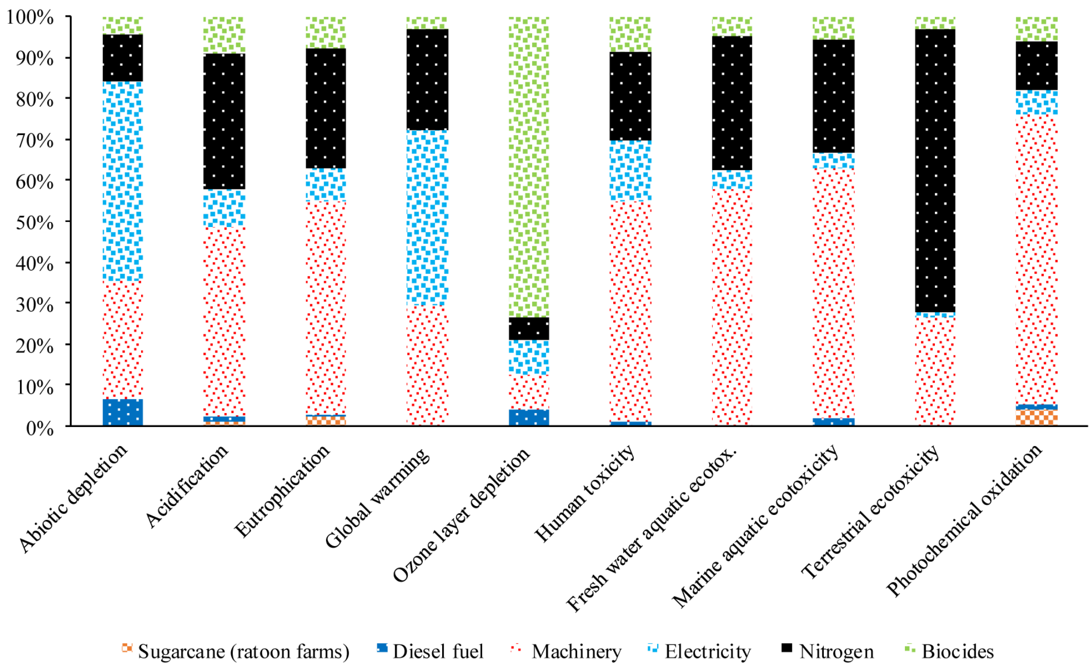
Table 4- Environmental indicators for sugarcane production per one ton of sugarcane (fresh stem) in plant and ratoon farms

بخش‌های اثر Impact categories	واحد Unit	مزارع پلنت Plant farms	مزارع راتون Ratoon farms
تخلیه مواد غیرآلی Abiotic depletion	kg Sb eq.	0.80	0.63
اسیدی شدن Acidification	kg SO_2 eq.	0.516	0.34
اختناق دریاچه‌ای Eutrophication	kg PO^{-3}_4 eq.	0.165	0.097
گرمایش جهانی Global warming	kg CO_2 eq.	126.51	103.95
نقصان لایه ازن Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	0.000011	0.00000104
مسمومیت انسان‌ها Human Toxicity	kg 1,4-DCB eq.	111.93	64.42
مسمومیت آب‌های سطحی Freshwater aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DCB eq.	29.30	19.34
مسمومیت آب‌های آزاد Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DCB eq.	51636.91	35448.06
مسمومیت خاک Terrestrial Ecotoxicity	kg 1,4-DCB eq.	1.42	0.416
اکسیداسیون فتوشیمیایی Photochemical oxidation	kg C_2H_4 eq.	0.12	0.03



شکل 3- بخش‌های اثر به‌ازای یک تن نیشکر (ساقه تر) در مزارع پلنت

Fig. 3- Impact categories per one ton of sugarcane (fresh stem) in plant farms



شکل 4- بخش‌های اثر به‌ازای یک تن نیشکر (ساقه تر) در مزارع راتون

Fig. 4- Impact categories per one ton of sugarcane (fresh stem) in ratoon farms

سموم شیمیایی بیشترین تأثیر را بر نقصان لایه ازن داشته است.

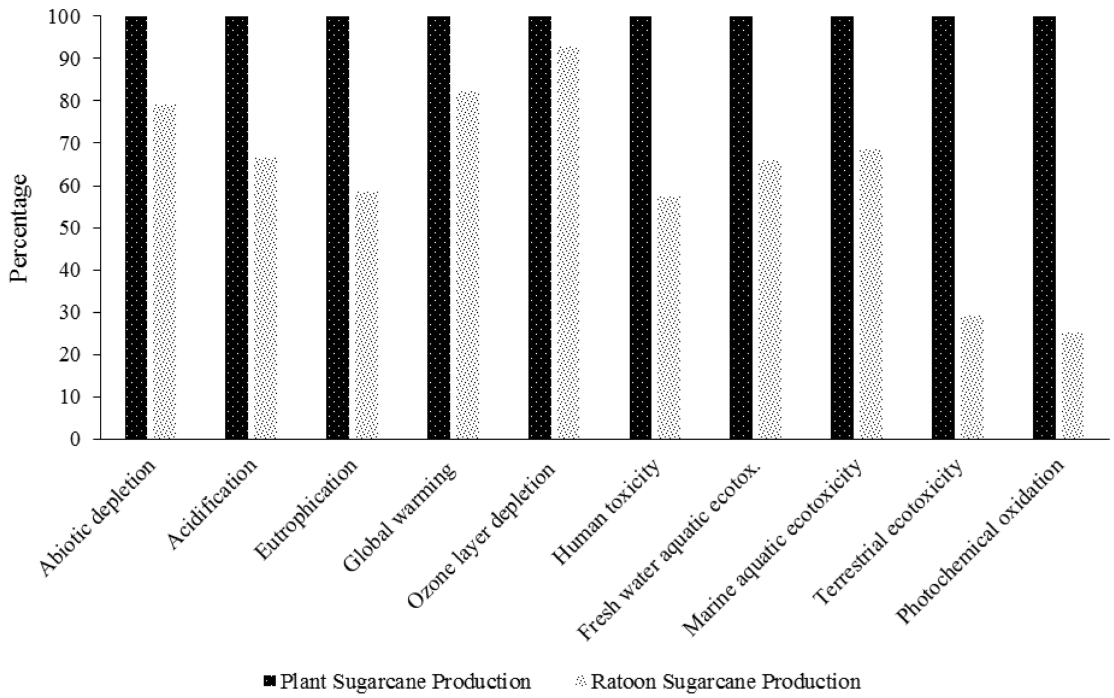
در بخش پتانسیل گرمایش جهانی بیشترین سهم را الکتریسیته به میزان 36/8 درصد و 42/92 درصد و پس از آن ماشین‌های کشاورزی به میزان 35/5 درصد و 28/8 درصد به ترتیب در مزارع پلنت و مزارع راتون داشته است. نتایج بررسی میزان بار زیست‌محیطی وارد شده از طرف نهاده‌ها در سامانه مورد مطالعه، نشان می‌دهد که در اکثر بخش‌ها، ماشین‌های کشاورزی و کود نیتروژن بیشترین بار زیست‌محیطی را به خود اختصاص داده است. البته در بخش اثر پتانسیل گرمایش جهانی الکتریسیته بیشترین بار زیست‌محیطی را دارا بوده است. همچنین در بخش اثر نقصان لایه ازن سموم شیمیایی تأثیر بسزایی داشته‌اند.

به‌منظور تفسیر بهتر نتایج واحد عملکردی دیگر به‌عنوان واحد سطح نیز در نظر گرفته شد. بدین معناست که تمامی شاخص‌ها به ازای یک هکتار محصول تولیدی محاسبه شد. هنگامی‌که واحد عملکردی بر اساس واحد سطح مورد محاسبه قرار می‌گیرد تفاوت محصولات مختلف از نظر میزان عملکرد متفاوت در نتایج نادیده گرفته می‌شوند. شکل 5 مقایسه بین مزارع پلنت و راتون را از نظر میزان آلایندگی در واحد سطح نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود، مزارع پلنت نسبت به مزارع راتون بارهای محیطی بیشتری تولید می‌کنند. این نتایج با توجه به اینکه در مزارع پلنت عملیات‌های کشاورزی بیشتری در مقایسه با مزارع راتون انجام می‌شود، لذا آلاینده‌های زیست‌محیطی بیشتری در مزارع پلنت نسبت به مزارع راتون در تولید نیشکر به‌وجود می‌آید، در نتیجه برای کاهش این آلایندگی‌ها در مزارع پلنت، انجام عملیات‌های کشاورزی باید به حداقل برسد و در واقع از انجام عملیات خاک‌ورزی متعدد جلوگیری شود و حداقل خاک‌ورزی و یا بی‌خاک‌ورزی در دستور کار قرار گیرد.

مجموع شاخص زیست‌محیطی

نتایج مجموع شاخص زیست‌محیطی نیشکر (ساقه تر) تولید شده در مزارع پلنت برابر با 0/45 EcoX به‌ازای یک تن نیشکر (ساقه تر) تولیدی محاسبه گردید که حدود 32 درصد بالاتر از مجموع این شاخص در مزارع راتون می‌باشد. سهم گروه‌های مختلف تحت تأثیر مورد مطالعه از شاخص‌های زیست‌محیطی در مزارع پلنت به مراتب بالاتر از مزارع راتون بود. این مقادیر در مزارع پلنت برای شاخص‌های مسمومیت آب‌های آزاد، پتانسیل گرمایش جهانی و مسمومیت انسان‌ها به‌ترتیب 0/64، 0/36 و 0/15 EcoX و در مزارع راتون این

شاخص‌ها به‌ترتیب 0/42، 0/26 و 0/09 به ازای یک تن نیشکر (ساقه تر) بیشترین سهم در مقایسه با شاخص‌های دیگر داشتند. با توجه به این نتایج مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی به‌خصوص کود نیتروژن به‌دلیل پتانسیل بالاتر بروز آلودگی‌های زیست‌محیطی، سبب افزایش بروز تشدید اثرات زیست‌محیطی می‌شود. راهکار پایدار جهت کاهش اثرات زیست‌محیطی تولید نیشکر، افزایش کارآیی مصرف منابع می‌باشد.



شکل 5- مقایسه اثرات زیست محیطی بین مزارع پلنت و مزارع راتون در تولید نیشکر

Fig. 5- Comparison of environmental impacts between plant and ratoon farms in sugarcane production

در مطالعه‌ای با بررسی اثرات زیست‌محیطی تولید آفتابگردان و کلزا بیان داشتند، بالاترین اثرات زیست‌محیطی برای گروه‌های تأثیر گرمایش جهانی و اوتریفیکاسیون حاصل گردید. دلیل این امر را به تولید و مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی و عملیات خاک‌ورزی نسبت دادند (Iriarte et al., 2010). در پژوهش‌های انجام شده دیگر، شاخص‌های زیست‌محیطی در تولید یک تن چغندرقند برای گرمایش جهانی، اسیدیته، تخلیه منابع فسیلی و تخلیه منابع آبی به‌ترتیب 0/0003، 0/002، 0/025 و 0/073 به‌دست آمد و این شاخص‌ها نشان می‌دهد که در تولید یک تن چغندرقند تخلیه منابع آبی نسبت به سایر اثرات، دارای کارایی آسیب زیست‌محیطی بیشتری می‌باشد (Mirhaji et al., 2012). در مطالعه‌ای جهت ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی تولید خیار و گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای گاز طبیعی و الکتریسیته بیشترین بار زیست‌محیطی در مرحله تولید تا مصرف را بر روی آلایندگی‌های منتشر شده از خود نشان داده‌اند (Khoshnevisan et al., 2014). در مطالعه‌ای برای تولید عدس و نخود زراعی نتایج نشان داد که برای تولید یک تن محصول عدس، انتشارات مستقیم ناشی از مصرف نهاده‌ها، کاربرد ماشین‌های کشاورزی، کود نیتروژن و کود دامی به‌ترتیب با 42 درصد، 32 درصد، 10 درصد و هفت درصد و برای کشت یک تن نخود زراعی همین نهاده‌ها به‌ترتیب با 44 درصد، 25 درصد، نه درصد و 12 درصد بیشترین تأثیر را بر مجموع 10 شاخص زیست‌محیطی داشته است (Elhami et al., 2016 a,b).

جدول 5- عملکرد شبکه عصبی مصنوعی برای ارزیابی مدل‌سازی شاخص‌های زیست‌محیطی تولید نیشکر در مزارع پلنت

Table 5- Artificial neural network performance for modeling the environmental indicators of sugarcane production in planted farms

عنوان Title			آموزش Train			آزمون Test			کل Overall		
	NH_1*	NH_2**	MAPE (%)	RMSE	R^2	MAPE (%)	RMSE	R^2	MAPE (%)	RMSE	R^2
تخلیه مواد غیرآلی Abiotic depletion	10	5	0.14	0.132	0.964	0.540	0.089	0.974	0.60	0.125	0.970
اسیدی شدن Acidification	10	5	0.007	0.116	0.981	0.740	0.091	0.983	0.009	0.106	0.992
اختناق دریاچه‌ای Eutrophication	10	5	0.176	0.111	0.984	0.894	0.112	0.985	0.564	0.115	0.992
گرمایش جهانی Global warming	10	5	0.005	0.105	0.986	0.074	0.168	0.981	0.064	0.132	0.989
نقصان لایه ازن Ozone layer depletion	10	5	0.015	0.163	0.964	0.043	0.198	0.943	0.054	0.175	0.953
مسمومیت انسان‌ها Human toxicity	10	5	0.028	0.254	0.896	0.016	0.163	0.912	0.032	0.138	0.960
مسمومیت آب‌های سطحی Freshwater aquatic ecotoxicity	10	5	0.187	0.112	0.963	0.990	0.106	0.974	0.860	0.099	0.978
مسمومیت آب‌های آزاد Marine aquatic ecotoxicity	10	5	0.113	0.124	0.979	0.086	0.138	0.973	0.115	0.126	0.960
مسمومیت خاک Terrestrial ecotoxicity	10	5	0.009	0.098	0.986	0.013	0.102	0.984	0.011	0.095	0.983
اکسیداسیون فتوشیمیایی Photochemical oxidation	10	5	0.009	0.125	0.973	0.009	0.113	0.988	0.008	0.113	0.980

*: تعداد نرون‌های لایه مخفی اول

*: Number of first hidden layer neurons

**: تعداد نرون‌های لایه مخفی دوم

**: Number of secondary hidden layer neurons

ارزیابی مدل‌سازی آلاینده‌های زیست‌محیطی تولید نیشکر

به‌منظور دستیابی به بهترین ساختار شبکه عصبی، تعداد مختلفی از ساختارها با یک و دو لایه و با تعداد نرون‌های یک تا 30 در لایه‌ی مخفی آموزش داده‌شده، آزمون و اعتبارسنجی شده‌اند و هم‌چنین از بین الگوریتم‌های آموزش مورد استفاده در این تحقیق، الگوریتم آموزش لونبرگ- مارکوات انتخاب گردید. از مجموعه داده‌های استفاده شده در این مدل70 درصد داده‌ها برای آموزش شبکه، 15 درصد داده‌ها برای آزمون اعتبارسنجی[1] و 15 درصد آن‌ها برای آزمون در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از این دو مدل در مزارع پلنت و راتون به‌ترتیب در جدول‌های 5 و 6 ارائه شده است.

بر اساس نتایج، در مدل‌سازی برای تولید نیشکر در مزارع پلنت ساختار 10-5-10-9 با نه ورودی، دو لایه مخفی با 10 و پنج نرون مخفی و 10 پارامتر خروجی به‌عنوان بهترین ساختار تعیین شده است. برای این ساختار R^2، RMSE و MAPE محاسبه شد که ضریب R^2 برای شاخص مسمومیت انسان‌ها و مسمومیت آب‌های آزاد با 0/960 کمترین مقدار، RMSE برای این شاخص‌ها (0/138 و 0/126) و برای شاخص اسیدی شدن و اختناق دریاچه‌ای با 0/992 بیشترین مقدار، RMSE (0/106 و 0/115) محاسبه گردید. سایر مقادیر R^2، RMSE و MAPE برای داده‌های آموزش و آزمون در مزارع پلنت در جدول 5 نشان داده شده است. هم‌چنین در مدل‌سازی برای تولید نیشکر در مزارع راتون ساختار10- 6- 9-7 با هفت ورودی، دو لایه مخفی با نه و شش نرون مخفی و 10 پارامتر خروجی به‌عنوان بهترین ساختار تعیین شده است. برای این ساختار R^2، RMSE و MAPE، ضریب R^2 برای شاخص اختناق دریاچه‌ای با 0/985 کمترین مقدار، RMSE برای این شاخص 0/164 و برای شاخص اسیدی شدن 0/995بیشترین مقدار، RMSE برای این شاخص 0/116 محاسبه گردید. سایر مقادیر R^2، RMSE و MAPE برای داده‌های آموزش و

1- Validation test

آزمون در مزارع راتون در جدول 6 نشان داده شده است. با توجه به مقادیر R^2 که توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی به‌دست آمد، این شبکه‌ها قادر به پیش‌بینی مزارع نیشکر با دقت بالایی هستند. امّا با توجه به مدل به‌دست آمده برای مزارع راتون در مقایسه با مزارع پلنت در تمام شاخص‌های زیست‌محیطی با دقت بالاتری پیش‌بینی می‌کند. شکل 6 مقایسه R^2 بین مزارع پلنت و راتون را نشان می‌دهد.

جدول 6- عملکرد شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی شاخص‌های زیست‌محیطی تولید نیشکر در مزارع راتون

Table 6- Artificial neural network performance for modeling the environmental indicators of sugarcane production in ratoon farms

عنوان Title	آموزش Train					آزمون Test			کل Overall		
	NH_1*	NH_2**	MAPE (%)	RMSE	R^2	MAPE (%)	RMSE	R^2	MAPE (%)	RMSE	R^2
تخلیه مواد غیرآلی Abiotic depletion	9	6	0.046	0.234	0.978	0.041	0.236	0.926	0.069	0.135	0.986
اسیدی شدن Acidification	9	6	0.007	0.146	0.974	0.005	0.096	0.991	0.088	0.116	0.995
اختناق دریاچه‌ای Eutrophication	9	6	0.016	0.156	0.963	0.074	0.115	0.974	0.118	0.164	0.985
گرمایش جهانی Global warming	9	6	0.143	0.147	0.982	0.127	0.136	0.986	0.022	0.153	0.992
نقصان لایه ازن Ozone layer depletion	9	6	0.009	0.113	0.982	0.114	0.235	0.936	0.069	0.146	0.991
مسمومیت انسان‌ها Human toxicity	9	6	0.016	0.179	0.978	0.019	0.186	0.972	0.029	0.158	0.975
مسمومیت آب‌های سطحی Freshwater aquatic ecotoxicity	9	6	0.036	0.148	0.976	0.018	0.142	0.954	0.036	0.139	0.986
مسمومیت آب‌های آزاد Marine aquatic ecotoxicity	9	6	0.052	0.123	0.978	0.009	0.156	0.942	0.115	0.142	0.995
مسمومیت خاک Terrestrial ecotoxicity	9	6	0.116	0.189	0.986	0.098	0.213	0.964	0.039	0.132	0.989
اکسیداسیون فتوشیمیایی Photochemical oxidation	9	6	0.006	0.148	0.942	0.014	0.106	0.985	0.043	0.128	0.992

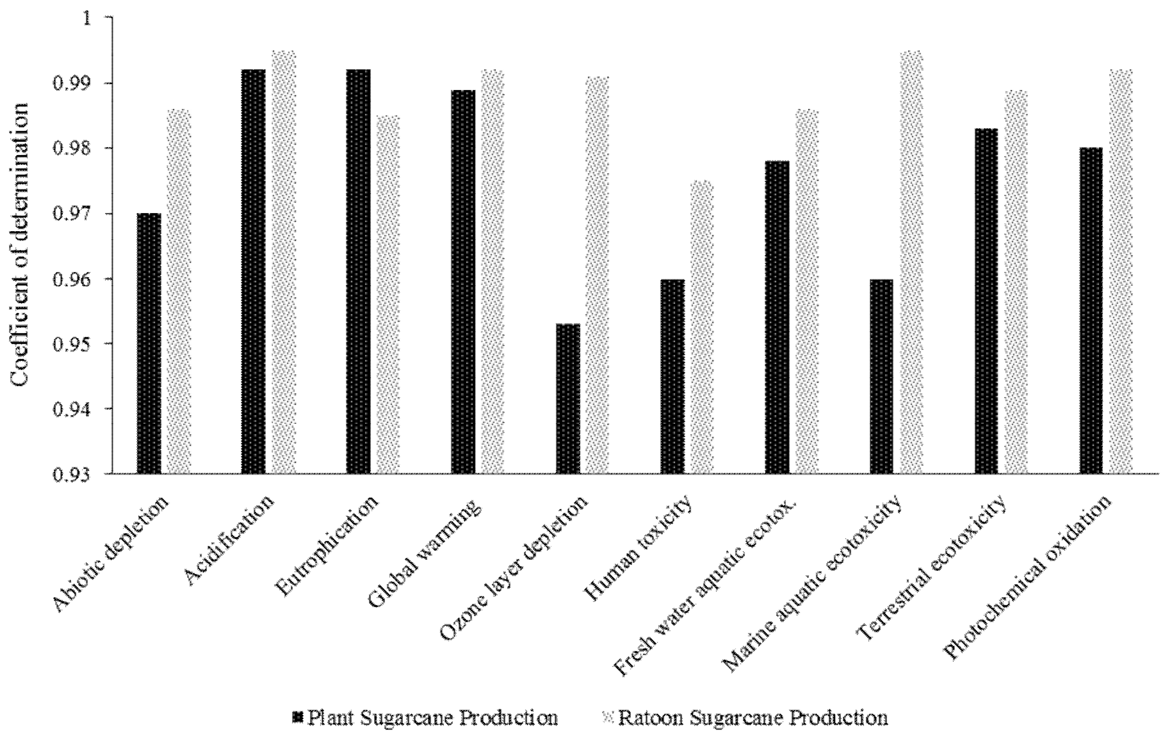
*: تعداد نرون‌های لایه مخفی اول   **: تعداد نرون‌های لایه مخفی دوم

*: Number of first hidden layer neurons   **: Number of secondary hidden layer neurons

در مطالعات دیگر شبکه عصبی مصنوعی، خوشنویسان و همکاران (Khoshnevisan et al., 2013) به مدل‌سازی عملکرد و انتشار گازهای گلخانه‌ای (CO_2) بر روی محصول گندم در شهرستان فریدون‌شهر پرداختند. بهترین ساختار با آرایش 2- 3- 11 معرفی شد که مقادیر R^2، RMSE و MAPE مربوط به این ساختار به‌ترتیب برابر با 0/99، 0/105 و 0/73 برای عملکرد و 0/998، 0/032 و 0/24 برای فاکتور CO_2 منتشر شده برآورد گردید. خانعلی و همکاران (Khanali et al., 2017) در تحقیقی به مدل‌سازی عملکرد و اثرات زیست‌محیطی در تولید چای (*Camellia sinensis*) اقدام نمودند. مقادیر R^2، RMSE و MAPE مربوطه به ترتیب برابر با مقادیر بین 0/887 تا 0/990 و 0/053 تا 0/124 و 0/002 تا 0/019 برای مدل‌های توسعه یافته شبکه‌های عصبی در سه نوع چای پردازش شده، برآورد گردید.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید نیشکر با رویکرد چرخه‌حیات و برآورد انتشار آلاینده‌های منتشر شده با توجه به نهاده‌های ورودی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در شرکت کشت و صنعت امام خمینی (ره) پرداخته شد. نتایج حاصل از ارزیابی چرخه‌حیات محصول تحت مطالعه نشان داد که میزان پتانسیل گرمایش جهانی به ازای یک تن نیشکر تولیدی در مزارع پلنت و مزارع راتون به‌ترتیب، برابر با 126/51 و 103/95 کیلوگرم معادل کربن‌دی‌اکسید برآورد شده است.



شکل 6- مقایسه بین ضریب تعیین در مزارع پلنت و مزارع راتون با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی
Fig. 6- Comparison between the coefficient of determination in plant and ratoon farms using artificial neural network

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد ماشین‌های کشاورزی و کود نیتروژن در تمام بخش‌های اثر بیشترین تأثیر را در افزایش شاخص‌های به‌دست آمده داشته است. سموم شیمیایی بیشترین تـأثیر را بـر نقصان لایه ازن داشته است. در بخـش پتانسـیل گرمـایش جهـانی بیشترین سهم را الکتریسیته به میزان 36/8 درصد و 42/92 درصد و پس از آن ماشین‌های کشاورزی به‌میزان 35/5 درصد و 28/8 درصد به‌ترتیب در مزارع پلنت و مزارع راتون داشته است. هـم‌چنـین نتـایج مجموع شاخص زیست‌محیطی نیشکر تولید شده در مزارع پلنت برابر با EcoX 0/45 به‌ازای یک تن نیشکر تولیدی محاسـبه گردیـد کـه حدود 32 درصد بالاتر از مجموع این شاخص در مزارع راتون می‌باشد. نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که بهترین ساختار برای شبکه عصبی جهت پیش‌بینی آلاینده‌های زیست‌محیطی تولیـد نیشکر، ساختار 10- 5- 10- 9 برای مزارع پلنـت و سـاختار10- 6- 9- 7 برای مزارع راتون تخمین زده شـد. هـم‌چنـین نتـایج مقایسـه مدل‌سازی آلاینده‌های منتشر شده برای مزارع پلنت و راتون نشان داد که شبکه‌های عصبی قادر به‌پـیش‌بینـی آلاینـدگی اسـت کـه مـدل به‌دست آمده برای مزارع راتون نسـبت بـه مـزارع پلنـت را بـا دقـت بالاتری پیش‌بینی و مـدل‌سـازی مـی‌کنـد. جلـوگیری از آتـش زدن سرشاخه‌های نیشکر قبـل از برداشـت، کـاهش مصـرف الکتریسـیته، کودهای شیمیایی، آب آبیاری و استفاده کمتر از ماشین‌های کشاورزی و به‌کار بردن ماشین‌های کم‌خاک‌ورزی یکی از راه‌های مهم مدیریت بهتر کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی در تولید نیشکر منطقه مـورد بررسی است. بدین منظور، با تجزیه و تحلیل پارامترهای خاک بـرای تعیین نیازهای خاک (کاهش تولید آلایندگی در اثر مصرف بالای کود شیمیایی)، استفاده از پمپ‌ها با بازدهی بالا و اصلاح سیستم آبیـاری می‌توان میزان نشر آلاینده‌های زیست‌محیطی را به‌صورت چشم‌گیری کاهش داد.

سپاسگزاری

از گروه مهندسی ماشـین‌هـای کشـاورزی دانشـکده مهندسـی و

فناوری دانشگاه تهران به‌خاطر تأمین اعتبار مورد نیاز ایـن تحقیـق و همچنین از مسئولین و مهندسین شرکت کشت و صنعت نیشکر امـام خمینی (ره) تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

Antanasijević, D., Pocajt, V., Ristić, M., and Perić-Grujić, A., 2015. Modeling of energy consumption and related GHG (greenhouse gas) intensity and emissions in Europe using general regression neural networks. Energy 84: 816-824.

Auer, J., Bey, N., and Schäfer, J.M., 2017. Combined life cycle assessment and life cycle costing in the Eco-Care-Matrix: A case study on the performance of a modernized manufacturing system for glass containers. Journal of Cleaner Production 141: 99-109.

Cochran, W.G., 1977. The estimation of sample size. Sample Technology 3: 72-90.

Elhami, B., Akram, A., and Khanali, M., 2016b. Optimization of energy consumption and environmental impacts of chickpea production using data envelopment analysis (DEA) and multi objective genetic algorithm (MOGA) approaches. Information Processing in Agricultures 3(3): 190-205.

Elhami, B., Khanali, M., and Akram, A., 2016a. Combined application of artificial neural networks and life cycle assessment in lentil farming in Iran. Information Processing in Agricultures 4: 18–32.

FAO., 2016. Food and Agricultural Organization Statistical Yearbook, http://www.fao.org.

Ghaderpour, O., Rafiee, S.H., and Sharifi, M., 2018. Life cycle assessment of alfalfa production and prediction of emissions using multi-layer Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System in Bukan Township. Journal of Agricultural Machinery 8(1): 119-136. (In Persian)

González-García, S., Bacenetti, J., Negri, M., Fiala, M., and Arroja, L., 2013. Omparative environmental performance of three different annual energy crops for biogas production in Northern Italy. Journal of Cleaner Production 43: 71-83.

Guinée, J. B., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., de Koning, K.R.A., Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H., Bruijn, H., Duin, R.V., and Huijbregts, M.A.J., 2002. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. Kluwer, Dordrecht, the Netherlands.

Haroni, S., Shiekhdavoodi, M.G., and Kiani, M., 2015. Modeling of energy consumption and greenhouse gas emissions in the sugarcane production process in ratoon farms using artificial neural networks. A case study in Debel Khazai Agro-industry in Iran. Iranian Journal of Agricultural Machinery 4(2): 11-19. (In Persian with English Summary)

Iriarte, A., Rieradevall, J., and Gabarrell, X., 2010. Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean conditions. Journal of Cleaner Production 18(4): 336-345.

ISO., 2006. 14040 International standard. Environmental Management–Life Cycle Assessment–Principles and Framework, International Organisation for Standardization, Geneva, Switzerland.

Kaab, A., Sharifi, M., and Mobli, H., 2019a. Analysis and optimization of energy consumption and greenhouse gas emissions in sugarcane production using data envelopment analysis. Iranian Journal of Biosystem Engineering 50(1):19–30. (In Persian with English Summary)

Kaab, A., Sharifi, M., Mobli, H., Nabavi-Pelesaraei, A., and Chau, K.W., 2019b. Combined life cycle assessment and artificial intelligence for prediction of output energy and environmental impacts of sugarcane production. Science of the Total Environment 664:1005–19.

Khanali, M., and Hosseinzadeh-Bandbafha, H., 2017. Evaluation of energy flow and environmental impacts of greenhouse production of medicinal plants with life cycle assessment approach case study of *Aloe vera* plant. Iranian Journal of Biosystem Engineering 48(3): 361-377. (In Persian with English Summary)

Khanali, M., Mobli, H., and Hosseinzadeh-Bandbafha, H., 2017. Modeling of yield and environmental impact categories in tea processing units based on artificial neural networks. Environmental Science and Pollution Research 24(34): 26324-26340.

Khoshnevisan, B., Rafiee, S.H., Omid, M., and Mousazadeh, H., 2013. Applying data envelopment analysis approach to improve energy efficiency and reduce GHG (greenhouse gas) emission of wheat production. Energy 58: 588-593.

Khoshnevisan, B., Rafiee, S.H., Omid, M., Mousazadeh, H., and Clark, S., 2014. Environmental impact assessment of tomato and cucumber cultivation in greenhouses using life cycle assessment and adaptive neuro-fuzzy inference system. Journal of Cleaner Production 73: 183-192.

Kiani, M.K.D., Ghobadian, B., Tavakoli, T., Nikbakht, A., and Najafi, G., 2010. Application of artificial neural networks for the prediction of performance and exhaust emissions in SI engine using ethanol-gasoline blends. Energy 35: 65-69.

Kouchaki-Penchah, H., Sharifi, M., Mousazadeh, H., and Zarea-Hosseinabadi, H., 2016a. Life cycle assessment of medium-density fiberboard manufacturing process in Iran. Journal of Cleaner Production 112: 351-358.

Kouchaki-Penchah, H., Sharifi, M., Mousazadeh, H., Zarea-Hosseinabadi, H., and Nabavi-Pelesaraei, A., 2016b. Gate to gate life cycle assessment of flat pressed particleboard production in Islamic Republic of Iran. Journal of Cleaner Production 112: 343-350.

Kylili, A., Christoforou, E., and Fokaides, P.A., 2016. Environmental evaluation of biomass pelleting using life cycle assessment. Biomass Bioenergy 84: 107-117.

Lin, P.L., Petway, J., and Settele, J., 2017. Train artificial intelligence to be fair to farming, nature international Journal of Science 334-552.

Manfredi, M., and Vignali, G., 2014. Life cycle assessment of a packaged tomato puree: A comparison of environmental impacts produced by different life cycle phases. Journal of Cleaner Production 73: 275-284.

Mila, I., Canals, L.M., Burnip, G.M., and Cowell, S.J., 2006. Evaluation of the environmental impacts of apple production using life cycle assessment (LCA): Case study in New Zealand. Agriculture, ecosystems and environment 114(2): 226-238.

Milutinović, B., Stefanović, G., Dekić, PS., Mijailović, I., and Tomić, M., 2017. Environmental assessment of waste management scenarios with energy recovery using life cycle assessment and multi-criteria analysis. Energy 137:917-926.

Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran., 2018. Center for Information and Communication Technology - Ministry of Agriculture, amar.maj.ir. (In Persian)

Mirhaji, H., Khojastehpour, M., Abbaspour-Fard, M.H., and Mahdavi-Shahri, S.M., 2012. Environmental impact assessment of sugarbeet (*Beta vulgaris* L.) production with life cycle assessment method (Case study: South Khorasan province farms). Journal of Agroecology 4(2): 112-120. (In Persian with English Summary)

Mollafilabi, A., 2019. Comparison of environmental impacts for rice (*Oryza sativa* L.) agroecosystems in the first and second planting patters by using life cycle assessment (Case study: Sari county). Journal of Agroecology 10(4): 949-964. (In Persian with English Summary)

Mousavi-Avval, S.H., Rafiee, SH., Sharifi, M., and Hoseynpour, S., 2015. Energy and environmental life cycle assessment of canola production in Mazandaran province of Iran by applying two different approaches. Iranian Journal of Biosystem Engineering 46(3): 265-274. (In Persian with English Summary)

Mousazadeh, H., Keyhani, A., Javadi, A., Mobli, H., Abrinia, K., and Sharifi, A., 2011. Life cycle assessment of a solar assist plug-in hybrid electric tractor (SAPHT) in comparison with a conventional tractor. Energy Convers Manag 52(3): 1700-1710.

Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S.S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., and Chau K.W., 2018. Integration of artificial intelligence methods and life cycle assessment to predict energy output and environmental impacts of paddy production. Science of the Total Environment 631–632: 1279–94.

Nasrollahi-Sarvaghaji, S., Alimardani, R., Sharifi, M., and Taghizadeh Yazdi, M.R., 2016. Comparison of the environmental impacts of different municipal solid waste treatments using life cycle assessment (LCA) (Case study: Tehran). Iranian Journal of Health and Environment 9(2): 273-88. (In Persian with English Summary)

Nemecek, T., Dubois, D., Huguenin-Elie, O., and Gaillard, G., 2011. Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. Agricultural Systems 104(3): 217-232.

Renno, C., Petito, F., and Gatto, A., 2016. ANN model for predicting the direct normal irradiance and the global radiation for a solar application to a residential building. Journal of Cleaner Production 135: 1298-1316.

Renouf, M.A., Wegener, M.K., and Pagan, R.J., 2010. Life cycle assessment of Australian sugarcane production with a focus on sugarcane growing. The International Journal of Life Cycle Assessment 15(9): 927-937.

Romero-Gámez, M., Audsley, E., and Suárez-Rey, E.M., 2012. Life cycle assessment of cultivating lettuce and escarole in Spain. Journal of Cleaner Production 73:193-203.

Safa, M., and Samarasinghe, S., 2011. Determination and modelling of energy consumption in wheat production using neural networks: “A case study in Canterbury province, New Zealand”. Energy 36: 5140-5147.

Soleymani, M., Keyhani, A., and Omid, M., 2017. Life cycle assessment of ethanol produced from sugarcane molasses in Iran. Journal of Agricultural Engineering 40(2): 13-27. (In Persian with English Summary)

Sugarcane Research Institue of Iran., 2018. Annual Statistics Report, www.sugarcane.ir (In persian)

Yousefi, R., 2011. Agricultural Mechanization, First Edition. Publication of Applied Higher Education Institution of Jihad Agriculture, Iran. p. 361. (In Persian)

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.1, Spring 2020, p. 87-106

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 12، شماره 1، بهار 1399، ص 106-87

Life Cycle Assessment and Estimation of Environmental Pollutants Emission in Sugarcane Production (*Saccharum officinarum* L.) using Artificial Neural Network

A. Kaab[1], M. Sharifi[2*] and H. Mobli[3]
Submitted: 15-11-2018
Accepted: 26-05-2019

Kaab, A., Sharifi, M., and Mobli, H., 2020. Life cycle assessment and estimation of environmental pollutants emission in sugarcane production (*Saccharum officinarum* L.) using artificial neural network. Journal of Agroecology 12 (1): 87-106.

Introduction

Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) cultivation as a strategic product with a high sugar content and having side products can play a major role in addressing this need and disconnecting dependence. Life cycle assessment in recent years has become an appropriate tool for assessing environmental impacts in agricultural and food industries. The purpose of this study was to evaluate the environmental impacts of sugarcane production in Imam Khomeini Sugarcane Agro-Industrial Company (IKSAIC) with the life cycle approach and predict the amount of contaminants released according to inputs using artificial neural network.

Materials and Methods

This research was carried out in IKSAIC as one of the seven companies affiliated to the sugarcane development and related industries of Khuzestan province during 2017-2018. In a life cycle assessment project, all production processes of a product, from the stage of materials extraction to disposal of the remaining waste from the product (from cradle to grave) are reviewed and the results of the reduction of environmental degradation are used.

Each life cycle assessment project has four essential steps as follows:

1. Goal and scope definition
2. Life cycle inventory
3. Environmental impact assessment
4. Interpretation of results

Artificial neural network models were used to predict the environmental contamination of the product due to different inputs used in sugarcane production for plant and ratoon farms.

Results and Discussion

Assessment of environmental impacts of sugarcane production

In order to evaluate the reduction of environmental pollutants in sugarcane production, the entire life cycle of the product was investigated from primary sources extraction to harvesting in a field at plant and ratoon farms, separately. Ecoinvent databases were used to access needed information and data analysis was done with Simapro software.

In this study, the global warming potential per product in plant and ratoon farms is estimated to be equal to 126.51 and 103.95 kg CO_2, respectively, which is due to the burning of sugarcane branches before harvest. The studies also show that agricultural machinery and electricity have the most impact on this sector.

In order to better interpret the results of the other functional unit, it was considered as a unit of land. This means that all indicators were calculated per hectare of production. When the functional unit is calculated on the unit basis, the differences in the products are ignored for the different performance levels in the results.

1, 2 and 3- M.Sc. Graduated of Agricultural Mechanization Engineering, Associate Professor and Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: m.sharifi@ut.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i1.76629

Assessment modeling of environmental emissions sugarcane production

Based on the results, in modeling for sugarcane production in plant farms, 9-10-5-10 structures with nine inputs, two hidden layer with 10 as well as 5 secret neurons and 10 output parameters were identified as the best structure. For this structure, R^2, RMSE and MAPE were calculated. While the R^2 coefficient for the human toxicity index and the marine aquatic eco-toxicity were obtained with the lowest values of 0.960, RMSE for these indices were calculated as 0.138 and 0.126 respectively. Furthermore, highest values of R^2 coefficient for the acidification and eutrophication index of the lake were resulted about 0.992, whereas RMSE were computed about 0.106 and 0.115) respectively. Also, in modeling for sugarcane production in ratoon farms, the structure of 7-9-6-10 with seven inputs, two hidden layer with 9 and 6 secret neurons, and 10 output parameters are determined as the best structure. For this structure, R^2, RMSE and MAPE were calculated and R^2 coefficient was obtained with the lowest value of 0.985, while RMSE for this index was 0.164. In addition, R^2 for the acidification index was calculated with the highest value of 0.995, whereas the RMSE for this index was calculated to be 0.116.

Conclusion

The results of the evaluation of product life cycle showed that the global warming potential in plant and ratoon farms was estimated to be 126.51 and 103.95 kg CO_2, respectively. Results of artificial neural network modeling indicated that the best structure of the neural network to predict the environmental contaminants of sugarcane production, is 9-10-5-10 and 7-9-6-10 for plant farms and ratoon farms, respectively.

Acknowledgements

Thanks and appreciation from the Department Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran for the credibility of this research, as well as the officials and engineers of Imam Khomeini Sugarcane Agro-Industrial Company (IKSAIC).

Keywords: Eco-Index, Global warming potential, Modeling, Plant farms, Ratoon farms